

电子设备电源技术普及丛书

可控硅电源

赵广涛 编 著



人民邮电出版社

电子设备电源技术普及丛书

可控硅电源

赵 广 涛 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

可控硅电源具有体积小、容量大、重量轻、效率高、反应速度快、寿命长和使用维护方便等优点，在通信、广播、调光、调速、电力牵引、电炉控、温印染、石油化工和国防等许多方面都得到广泛的应用。

本书简要介绍可控硅的基本原理、特性参数和基本电路，着重介绍一些使用简单而应用广泛的可控硅电源电路及调试方法、本书内容通俗易懂，适合于从事电子技术和通信工作的工人以及非电源专业的技术人员阅读，也可供无线电业业余爱好者和初学者做入门参考。

电子设备电源技术普及丛书

可 控 硅 电 源

赵 广 涛 编著

•

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

•

开本：787×1092 1/32 1982年12月第 一 版

印张：2 16/32 页数：40 1982年12月河北第一次印刷

字数：56 千字 印数：1—22,000册

统一书号：15045·总2675—有5279

定价：0.25 元

丛 书 前 言

任何电子设备都离不开电源，为了普及电源技术知识，我们编辑出版了“电子设备电源技术普及丛书”。对一些常用的电源设备或器件，通俗易懂地简单讲解它的基本原理、规格性能、使用注意事项，并列举一些实用电路，介绍制作或调测方法等等。

主要读者对象为无线电爱好者、电子技术初学者以及从事电子技术和通信工作的工人和非电源专业的技术人员。

这套丛书要求在普及电源技术知识的同时，力求与实际相结合，向初学者介绍起码的实用技术，使之能解决简单的具体问题，从而为登堂入室创造条件，希望为我国电源技术培养人才起一定的促进作用。

本丛书初步计划出版有关于电池、微型电池、锌银蓄电池、常用晶体管稳压电源、整流器、逆变器、可控硅等方面的小册子，欢迎关心科普的作者和读者对本丛书的选题、内容等方面提出意见和建议。

本丛书是1979年11月在第二届全国电源技术年会上倡议组织的，并成立了编委会，负责审定本丛书编写原则和选题，推荐适宜的作者和审核书稿等事宜。编委会由下列人员组成：

章燕翼	李道恺	李厚福
倪本来	李颖达	李宗光
马传添	谭 信	蔡效平

“电子设备电源技术普及丛书”编委会

前 言

利用二极管的单向导电性，把交流电变成直流电，叫做整流。这种整流电路，在输入交流电压一定的情况下，负载上得到的直流电压是固定的，不可调节的。如果用可控硅代替二极管，情况就不同了，只要适当地改变加在可控硅控制极上触发信号的時刻，就可无触点地连续调节负载上直流电压的大小。这种整流电路叫可控整流电路。用这种方式获得的直流电源，称做可控硅整流电源。简称可控硅电源。

可控硅是本世纪六十年代发展起来的一种大功率半导体器件。可控硅电源与电动机一发电机组、闸流管、引燃管、磁放大器等旧式可调节整流设备相比，具有体积小、容量大、重量轻、效率高、反应速度快、寿命长、使用维修方便等优点。可控硅可安装在变压器副边，也可装在原边，还可甩掉变压器，直接对市电整流；它不仅可作无触点交流调压，还可代替三极管制作稳压、稳流电源和变频电源等。由于它具备这些可贵的功能，目前它在通信、广播、调光、调速、电力牵引、电炉控温、印染、石油化工和国防等许多方面都已得到广泛的应用。在某些发达国家已开始用它来进行高压直流输电，甚至用它来稳定电网……。它已成为弱电控制与强电控制之间的得力桥梁。

本书共分三章。简要介绍可控硅的基本原理，特性参数，基本电路，着重介绍一部分简单实用的可控硅电源电路及调试方法。内容通俗易懂，目的是对具有初步电学知识的读者，提

供作为自学入门的读物。在具有本书的知识后，读者就可以有阅读学习有关技术书籍和资料的基础知识，从而可以得到更为广泛和深入的可控硅应用知识。

作 者

1982年1月

目 录

一、可控硅元件	(1)
1.1 可控硅是一种半导体器件	(1)
1.2 可控硅是怎样工作的?	(8)
1.3 国产可控硅的型号及主要参数	(4)
1.4 怎样判断可控硅的好坏	(7)
1.5 可控硅的新品种	(8)
二、如何使用可控硅	(11)
2.1 常用可控整流电路	(11)
2.2 几种简单可靠的触发电路	(19)
2.3 可控硅的保护	(31)
2.4 可控硅使用注意事项	(34)
三、可控硅电源的实用电路	(36)
3.1 铅蓄电池用可控硅充电电源	(36)
3.2 可控硅快速充电电源	(40)
3.3 电镀电源	(46)
3.4 可控硅调光电源	(51)
3.5 可控硅自动恒温控制电源	(53)
3.6 可控硅照明不停电电源	(55)
3.7 可控硅直流稳压电源	(56)
3.8 可控硅能量回收电源	(58)
3.9 可控硅稳压、稳流电源及其调试	(61)

一、可控硅元件

1.1 可控硅是一种半导体器件

我们通常所说的“可控硅”，全名叫可控硅整流元件。它是在硅二极管和三极管的基础上发展起来的一种大功率半导体元件。

我国生产的可控硅主要有螺栓型和平板型两种，其外形如图 1 所示。它有三个极：阳极 a 、阴极 k 和控制极 g 。

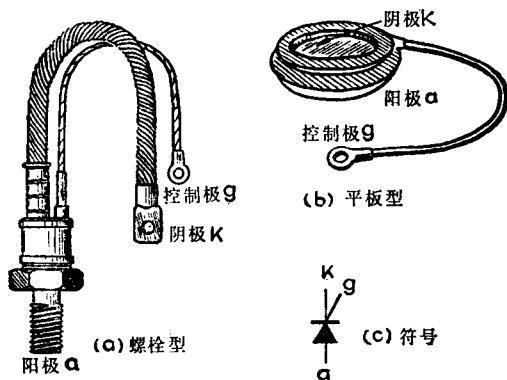
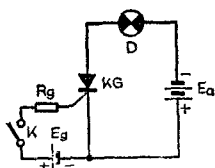


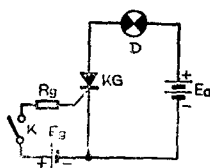
图 1 可控硅外形图

可控硅到底是一个什么样的东西呢？还是先让我们按图 2 的样子来做一个小试验。

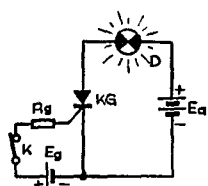
这个小试验告诉我们，可控硅相当于一个能够“通”或“断”的开关，但它何时能“通”，何时断开有一定的规律：



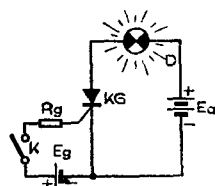
(a) 阳极接负，阴极接正，开关 K 通或断（即控制极上加正向触发电压或不加），可控硅均不通，灯不亮。



(b) 阳极接正，阴极接负，开关 K 断开（即控制极不加触发电压），可控硅不通，灯不亮。



(c) 阳极接正，阴极接负，开关 K 闭合（即控制极上加正向触发电压），可控硅导通，灯亮。



(d) 同图(c)，灯亮后，开关 K 打开（即去除触发电压），可控硅继续导通，灯仍亮。

图 2 可控硅工作状态小试验

(1) 可控硅阳极接负电压，阴极接正电压，叫可控硅反向连接，不管可控硅控制极加什么电压，可控硅都不能导通，灯不亮，相当于开关断开，如图 2(a) 所示。

(2) 可控硅阳极接正电压，阴极接负电压，叫可控硅正向连接，但控制极不加电压，可控硅不导通，灯不亮，仍相当于开关断开，如图 2(b) 所示。

(3) 可控硅正向连接，控制极接正向电压，可控硅导通，灯亮，相当于开关接通，见图 2(c)。待灯亮后，去掉控制极电压，灯仍亮，相当于开关仍然接通，见图 2(d)。此时若去掉阳极电压 E_a ，或使 E_a 减小到很小，灯不亮。可控硅由导通变为关断。

从这个小试验我们可以总结出，可控硅这个能“通”、能“断”的开关，要它导通必须满足两个条件：(1)阳极接正电压，阴极接负电压；(2)控制极接正电压。它还有一个有趣的特点，即一旦导通后，即使将控制极电压去除，仍能继续导通。

1.2 可控硅是怎样工作的？

拿一个用坏的可控硅来，把它撬开，一眼就可看出，它是一个四层三个出线端元件，这四层为PNPN半导体材料，其结构如图3(a)所示。虽然可控硅的作用同二极管更为接近，但为了更清楚地说明它是怎样工作的，还是用晶体管的原理来说明比较方便。

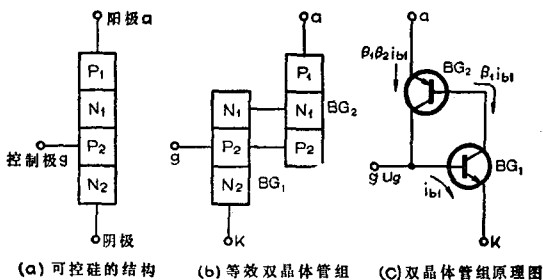


图 3 可控硅原理结构图

可以把可控硅看成是一个PNP型晶体管与一个NPN型晶体管按图3(b)和(c)那样连接起来的双晶体管组。当阳极加正电压，阴极加负电压，控制极和阴极间加上一定的正向控制电压 u_g 后， P_2N_2 二极管导通，产生控制极电流，这个电流相当于NPN型晶体管BG₁的基极电流 i_{b1} ，经BG₁管放大，产生较大

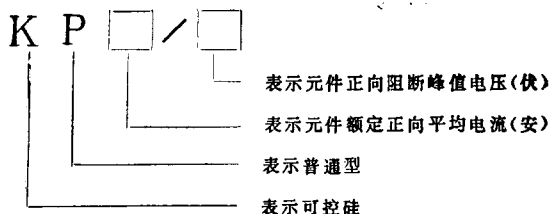
的集电极电流。设 BG_1 的电流放大系数为 β_1 ，则集电极电流为 $\beta_1 i_{b1}$ 。这个电流刚好是PNP晶体管 BG_2 的基极电流，经 BG_2 管放大后，再产生较大的集电极电流，设 BG_2 管的电流放大系数为 β_2 ，则其集电极电流为 $\beta_1 \beta_2 i_{b1}$ 而这个电流又回过来流入 BG_1 管的基极。只要开始时，基极电流足够大，而且两个晶体管的电流放大系数的乘积 $\beta_1 \beta_2 > 1$ ，则 $\beta_1 \beta_2 i_{b1} > i_{b1}$ 。此时，即使将触发电压 u_g 去掉，上述电流 i_{b1} 的循环增大过程将继续进行，使 BG_1 、 BG_2 的电流迅速增大，进入全导通状态。这时，可控硅便由关断转化为导通。可控硅导通后，它本身的压降很小，约1伏左右。

在图2(d)试验中，可控硅导通后，触发电压去除，为什么还能继续导通呢？这就是由于上面所说的可控硅内自身的电流循环增大的作用造成的。因此，可控硅控制极所加的触发电压，常常是一个具有一定幅值，而存在时间很短的脉冲电压，通常叫做触发脉冲。

降低阳极电压为什么可控硅会关断呢？这是因为阳极电压下降，其阳极电流下降，等效晶体管 BG_1 的基极电流 i_{b1} 减小，电流放大系数 β 降低，当降低到使 $\beta_1 \beta_2 < 1$ 时，可控硅内部的电流循环增大作用不能再继续维持下去，因此由导通转化为关断。若去除阳极电压，阳极电流很快下降到零，可控硅当然就关断了。

1.3 国产可控硅的型号及主要参数

每个可控硅出厂时，都带有一个合格证，第一栏均标明其型号为 $Kp\Box/\Box$ ，它代表的意义为：



如KP200/800，表示额定正向平均电流为200安，正向阻断峰值电压为800伏的普通型可控硅元件。

合格证上所表明的可控硅主要参数有：正向阻断峰值电压PFV；反向阻断峰值电压PRV；额定正向平均电流 I_F ；控制极触发电压 u_c 等。其含义如下：

(1) 正向阻断峰值电压PFV

控制极断开时，可以加到可控硅元件上的最大正向电压。

(2) 反向阻断峰值电压PRV

控制极断开时，可以加到可控硅元件上的最大反向电压。

(3) 额定正向平均电流 I_F

在规定环境温度和散热条件下，元件能连续通过的工频正弦半波电流的平均值。

(4) 控制极触发电压 u_c

在规定环境温度及一定的阳极电压条件下，为使可控硅从关断变为导通，控制极所需的最小直流电压。

使用时必须注意加在可控硅上的正、反向峰值电压及通过可控硅的平均电流值不得超过合格证上给出的允许值，否则可控硅可能会损坏。

常用KP型可控硅的主要参数，见表1。

表 1 KP型可控硅元件主要参数

参 数 名 称	符 号	单 位	KP5/ 100~2000	KP20/ 100~2000	KP50/ 100~2000	KP200/ 100~2000	KP500 100~2000
正向阻断峰值电压	P_{FV}	伏	100~2000	100~2000	100~2000	100~2000	100~2000
反向阻断峰值电压	P_{RV}	伏	100~2000	100~2000	100~2000	100~2000	100~2000
额定正向平均电流	I_F	安	5	20	50	200	500
最大正向平均漏电流	I_L	毫安	8	3	5	10	10
最大反向平均漏电流	I_R	毫安	8	3	5	10	10
最大正向平均压降	V_F	伏	1.2	1.2	1.2	0.8	0.3
最大维持电流	I_H	毫安	40	60	60	100	100
控制极触发电压	u_c	伏	>0.3 <3.5	>0.25 <3.5	>0.25 <3.5	>0.15 <4	<4
控制极触发电流	I_c	毫安	>0.4 <50	>1 <70	>1 <100	>1 <200	<250
控制极最大允许反向电压	u_{GR}	伏	5	5	5	5	
额定工作结温	t_j	$^{\circ}C$	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 115	≤ 120
铝散热器面积		厘米 ²	350	1200	900	2200	4000
冷却方式			自然冷却	自然冷却	风冷	风冷	风冷

1.4 怎样判断可控硅的好坏

要想知道一节干电池是好是坏，只要用小灯泡一试就知道了。可是，如果你面前有一只可控硅，怎么才能知道它是好是坏呢？这里介绍一种简便易行的方法：用万用表来判断可控硅的好坏。

根据二极管原理，只要用万用表测量一下三个极间的电阻值就行了，如图4所示。

用万用表的红笔和黑笔交替测量阳极与阴极之间、阳极与控制极之间的正向与反向电阻，若阻值在几百千欧以上时，说

明可控硅的这一部分是好的，如图4(a)、(b)所示。

控制极与阴极之间是一个PN结，相当于一个二极管，因此控制极到阴极的正向电阻大约几欧到几百欧的范围。阴极到控制极的反向电阻比正向电阻要大。图4(c)为测量控制极与阴极间的反向电阻。因为可控硅控制极的二极管特性一般不太理想，因此，有时测得的反向电阻比较小，这并不说明控制极特性不好。另外，在测量控制极正向电阻时，万用表应放在 $R \times 10$ 或 $R \times 1$ 档，以防电压过高将控制极击穿。

如果测量结果，出现下述任一情况时，均说明可控硅已经损坏。①阳极和阴极间电阻接近零；②阳极与控制极间电阻接近零；③控制极到阴极反向电阻接近零；④控制极与阴极间电

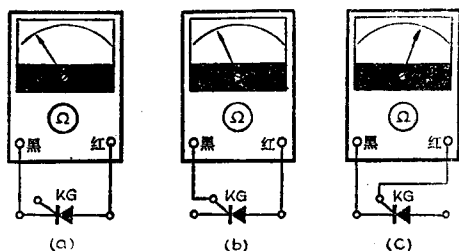


图4 用万用表判断可控硅好坏示意图

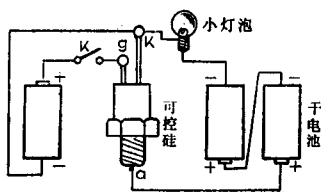


图 5 判断可控硅好坏试验电路

阻无穷大。

如果没有万用表，可找几节干电池和一个手电筒小灯泡，按图 5 接线，合上开关 K ，小灯泡如果亮，说明可控硅是好的。如果灯不亮，说明可控硅是坏的。为确保试验可

靠，阳极和阴极间可用两个灯泡和四节电池串联。

1.5 可控硅的新品种

随着可控硅应用技术的发展，普通型可控硅不能满足生产实践中所提出的多种要求，于是在普通型可控硅的基础上，又发展了很多新元件。它们象普通型可控硅的“兄弟姐妹”一样，因此又叫这些元件为派生元件，下面简要介绍几种：

1. 快速可控硅

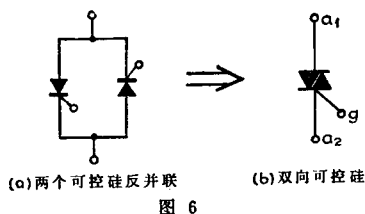
普通型可控硅工作时，“通”与“断”所需的时间比较长，在频率要求高时，不能正常工作，当工作频率在 400 赫以上时，额定电流将迅速下降，开关所造成的损耗，也随频率的增加而增加，为了解决这一矛盾，制造出了快速可控硅，它能在 400 赫以上的整流，逆变和变频电路中正常工作。

2. 双向可控硅

在对交流电的控制电路中，经常把两个可控硅反并联起来使用，如图 6(a)。这不仅需要两个可控硅，还需两套独立的触发电路，为使线路简化，设法把两个反并联的可控硅做在一

起，这种新型元件叫双向可控硅，其符号如图6(b)所示。

双向可控硅的结构，也分螺栓型和平板型两种，其外形同图1所示普通型可控硅完全一样。它有阳极 a_1 （相当于普



通可控硅的阳极 a ），阴极 a_2 （相当于普通可控硅的阴极 k ）和控制极 g 。它的特点是：在控制极上加的触发电压不管是正脉冲电压，还是负脉冲电压，阳极 a_1 和阴极 a_2 间不管加的电压是正还是负，双向可控硅均可以导通，导通的方向取决于极间电压的极性。由于这个特点，它可以用交流信号进行控制，而普通可控硅只能用正电压进行控制。

双向可控硅适用于作交流无触点开关，舞台调光电源、交流调压电源，自动控制电源及逆变电源等。

3. 可关断可控硅

第1.1节中已讲到，当可控硅一旦导通后，去除控制极电压它仍导通，只有降低或去掉阳极电压，才能使它关断，这太不方便了。能不能造一种可控硅，像河流上的闸门一样，闸门一提水就流通，闸门一关水就停止呢？可关断可控硅就具备这个特点。

可关断可控硅的特性是：当控制极上加正向触发电压时，它便导通，一旦导通，就维持继续导通，此时，如果在控制极上加上负的脉冲电压时，它能以很快的速度关断。因此，可利用它制做成体积更小，重量更轻的电子设备电源。

4. 光控可控硅

光控可控硅是一种很有趣的元件，它除了象普通可控硅那样工作以外，还可以用光线照射的方法使它导通，光线照射导通后，它还可以象普通可控硅一样保持这种导通状态。

光控可控硅可用作光电控制和逻辑控制。

5. 可编程序可控硅

在进入信息时代的今天，计算机应用日益广泛，相应出现一种可编程序可控硅。这种可控硅的通断完全由计算机的软件控制，因此，可编程序可控硅将具有大多数类型的可控硅所没有的神奇功能。

科学技术在不断地发展，新器件也会层出不穷。本书着重介绍常用的一些可控硅及其应用。